

# 基于眼动指标的飞行注意力分配评价方法研究

郝亮 伍伟 李秀易

中国民用航空飞行学院 四川广汉 618307

**摘要:** 在飞行训练过程中, 如何对飞行员的注意力分配进行有效量化与优化, 是当前面临的重要课题。针对这一问题, 本文设计了一种以眼动追踪指标为基础的评估方法。通过记录两个实验团队共 60 名飞行学员在模拟起落航线任务中的眼动行为, 分析发现学员对各仪表区域的注视时间具有显著差异, 从而揭示出其视觉搜索行为的典型特征。训练后学员飞行成绩的提升, 验证了专项训练的实际效果。研究提出对个体注意力数据进行归一化处理, 并借助雷达图将其与理想注意力分布进行量化比较, 以准确识别个人弱项。该策略为建立基于数据的个性化注意力训练框架提供了理论依据与实践路径。

**关键词:** 眼动指标; 注意力分配; 眼动追踪; 飞行评价

## 引言

在飞行运行中, 注意力分配是一项保障安全的核心技能, 它深刻影响着飞行员在高复杂度座舱环境中同步执行仪表监控、外部观察、程序操作以及内外沟通的能力。如果出现注意力僵化或配置失误, 比如过度投入于导航参数设置而未能及时察觉飞行姿态的细微偏离, 或在突发故障时仅聚焦于局部问题而忽略整体能量状态, 便可能在极短时间内造成关键信息的遗漏, 从而引发情景意识缺失, 甚至酿成事故。此类问题对飞行学员构成了显著威胁。因此, 在飞行员早期选拔与培养中, 高效分配注意力已成为一项基础性且具有筛选意义的评判要素。不少潜质良好的学员, 并非由于操作不熟练或知识储备不足, 而是因为模拟机或实际飞行训练中, 难以在“监控、操纵、通信、判断”等并行任务之间实现灵活、适切的注意力转移与配置, 最终被认为难以适应飞行职业的高负荷、多任务特性, 从而退出培训。这充分体现出该能力在飞行专业素养中的根本性地位。

然而, 当前航空训练面临一个关键矛盾, 尽管注意力分配对飞行安全具有决定性作用, 行业内部仍缺少能够对其进行准确、客观测量的科学工具与系统方法。现有评估多依赖教员的主观判断与经验性评语, 无法像读取高度或坡度数据那样, 以量化指标反映学员注意力在不同仪表与外景之间的切换节奏、停留时间及配置效率, 相关教学依然难以脱离经验主导的模式。这一量化缺失直接造成教学实施的困难: 教员虽可指出缺陷, 却不易为每位学员设计

出如训练科目一般明确的注意力提升路径。该能力无法像掌握某个机动作那样, 借助步骤分解与反复实操形成自动化反应。因此, 当前训练在很大程度上仍依赖于定性指导、持续提示以及学员自身的领会与经验沉淀, 尚未形成体系化、标准化且能精准施策的教学与评估机制。

随着眼动追踪、脑电及其他生理参数监测等新技术的持续发展, 有望逐步打开注意力分配的“黑箱”。通过捕捉和分析学员的注视模式与认知负荷水平, 生成个体化的注意力特征图, 从而为飞行教学提供前所未有的数据化支撑, 并推动飞行员培训向更科学、更精细、更高效的方向迈进。不过, 在这一目标全面实现之前, 如何在日常训练中不依赖昂贵设备, 却有效提升学员的注意力调度能力, 仍然是航空教育领域一项亟待攻克的重要课题。

近年来, 国内外在该领域的研究逐渐兴起。Wickens<sup>[1]</sup>等人提出, 人的注意力并非单一的池化资源, 而是包含多个维度(如视觉/听觉、空间/语言)。当多个任务竞争同一维度的资源时, 干扰和绩效下降就会发生。Haslbeck<sup>[2]</sup>等通过眼动追踪技术, 实际测量了飞行员在飞行过程中的视觉注意力分配。研究通过量化飞行员在不同仪表、外部视野之间的注视点、停留时间和扫描模式, 客观地揭示了新手与经验飞行员在注意力分配策略上的显著差异。王战超<sup>[3]</sup>等利用眼动追踪技术, 对飞行学员在不同飞行阶段(如起飞、着陆)的注意力分配进行量化分析。黄敏<sup>[4]</sup>等从理论层面解释了“注意力分配为何是情景意识和安全的基石”, 并为在不完全依赖高端设备的情况下, 如何通过教学设计

和训练方法改善注意力分配提供了思路。

### 1. 实验设计

本研究的受试者为 60 名飞行技术专业的男性飞行学员，被平均分成两个被试团队。他们均处于理论知识学习阶段，具备系统的航空知识，且身心健康，无任何可能干扰眼动数据采集的心理或生理问题。其中团队 2 在正常教学中加入针对性的注意力分配训练，对团队 1 进行正常教学。所有学员对 MFS2020 模拟飞行平台的操作都达到熟练水平，不但掌握了航空仪表知识，而且可以独立操作包括起落航线、私照训练科目及标准程序在内的各项飞行任务。

实验设备包括一套基于微软模拟飞行 2020 的桌面式飞行模拟训练器和 Tobii Glasses 3 眼动仪。本次模拟飞行实验在预设条件下进行：空域条件良好，天气晴朗，飞行计划已预先设定。实验任务要求被试在飞行训练器中完成北京机场 19 号跑道的标准起落航线飞行。在飞行中通过眼动仪采集被试者的飞行得分和眼动数据，经数据处理后得出被试在每个仪表兴趣区注视的时间，与标准数据对比分析最终得出注意力分配改进方案。

### 2. 数据处理及注意力评价

#### 2.1 方差分析

方差分析作为一种统计手段，主要用于检验多个样本均值之间是否存在显著差异。该方法的核心思想是通过分析组间变异与组内变异的比率，从而判断各总体均值是否具有统计学意义上的差异。在本研究中，采用方差分析方法旨在考察不同飞行学员对若干类仪表的注视时长是否具有显著区别，同时探究团队变量与仪表类型之间可能存在的交互效应。单因素方差分析的 F 统计量如下：

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{within}}$$

其中， $MS_{between}$  表示组间均方，反映不同仪表间的差异； $MS_{within}$  表示组内均方，反映个体差异。若计算得到的 F 值较大且 p 值小于显著性水平（如 0.05），则认为不同仪表间存在显著差异。为进一步分析被试在各仪表间的注意力差异，对七个主要注视区（升降速度表、姿态仪、机外目视、空速表、航向表、转弯仪、高度表）的注视时长进行方差分析（ANOVA）。结果见表 1。

表 1 不同注视区时长的方差分析

	自由度	平方和	均方	F 统计量	P 值
仪表类型	6	129126	21521	89.57	$p < 0.001$
误差	441	105946	240	—	—

分析结果显示，不同仪表之间的平均注视时长存在显著差异， $F(6, 441) = 89.57, p < 0.001$ 。这表明仪表类型对学员的注意力分配具有显著影响，学员在任务执行过程中并非平均分配视觉注意，而是倾向于关注特定仪表区域。

#### 2.2 成绩分析

为了找出注意力分配差异性对飞行的影响，对课前课后两次实验的成绩进行分析，结果如图 1 所示。

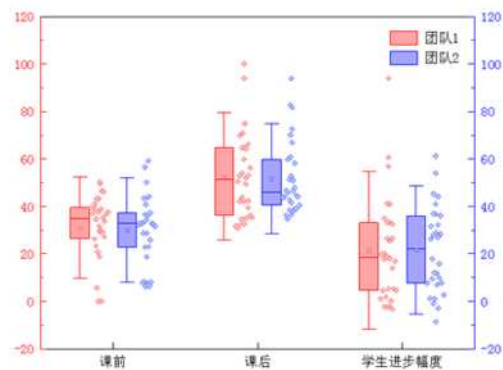


图 1 被试成绩的箱式统计图

根据箱式统计图可以明显看出课后数据与课前数据相比，团体 1 和团体 2 的成绩数据箱体上移，说明 2 个团体的飞行学员经过课程训练均取得了一定程度的进步。同时，观察课前数据箱体细节发现，2 个团体的箱体长度和上下须长度类似，说明课前 2 个团队的飞行技能水平相当。经过差异化的注意力分配训练后，2 个团体的课后数据箱体差异较大，团体 1 较团体 2 的箱体长且上下须较长，说明团体 1 的数据离散程度高，学生的飞行技术水平差异较大，成绩分布相对不稳定；而团体 2 的箱体略短，上下须也较短，说明团体 2 的飞行学员，经过课程有侧重的注意力分配训练后，成绩离散程度较低，成绩分布相对稳定。

根据箱式统计图可以看出团队 1 和团队 2 的平均进步幅度约为 20 和 21，且团队 2 比团队 1 进步幅度大于平均值的人数更多，可达到半数以上。两组试验数据表明，在进行了具有针对性的课程教学后，大部分被试都有了明显的进步，证明了在飞行员初始培养中，该方法对于帮助飞行员建立正确的注意力分配模式的可行性与实用性。

### 2.3 注意力评价

根据上一节的分析，被试在飞行任务中的注意力分配在不同注视区域之间存在显著差异。箱形图结果显示，经过注意力训练后，学生的评分明显提升，团队 2 课前与课后的飞行表现进步更加显著。为深入探究注意力分配差异与飞行表现之间的关联，并建立客观、可量化的注意力分配评价方法，本研究对各被试的注意力时间占比进行了归一化处理，并绘制成雷达图，以对比分析其在课前与课后注意力分配模式的变化，如图 2 所示。进一步通过对比个体注意力图形与标准分配模式的吻合程度，可识别出每位被试在注意力分配方面需重点改进的环节。

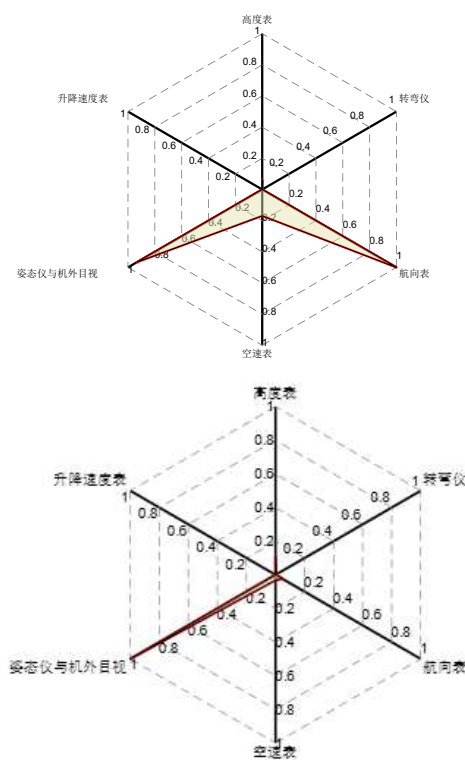


图 2 两名被试课后注意力分配雷达图

左图被试在课前注意力主要集中在“姿态仪与机外目视”上，主要关注因子是对的，但对“航向表”关注度过高，缺少对“空速表”的关注；课后测试中，该生保持了在“姿态仪与机外目视”上的关注度，且增加了对“空速表”的关注，降低了对“航向表”的关注，课后注意力分配和标准数据符合度较高，成绩提高显著。右图被试课前注意力

主要集中在“姿态仪与机外目视”上，主要关注因子是对的，同时对“航向表”、“高度表”关注度偏高，对“空速表”的关注较符合标准数据；课后测试中，该被试保持了在“姿态仪与机外目视”上的关注度，但是大幅度增加了对“航向表”和“高度表”以及“空速表”的关注。后期应继续保持在“姿态仪与机外目视”上的关注度，同时降低对“航向表”和“空速表”的关注。

### 3. 总结

本研究聚焦于飞行训练中关键的注意力分配能力，探讨了其在保障飞行安全与提升训练效果中的核心作用。尽管注意力分配对飞行员在多任务环境下的表现至关重要，但目前行业仍缺乏系统、量化的评估与训练方法，教学多依赖教员主观经验，难以实现精准指导。

通过方差分析发现，不同仪表区域的注视时长存在显著差异，表明学员在执行任务过程中并未均匀分配注意力，而是存在明显的视觉偏好。本文通过引入眼动指标与统计分析方法，初步建立了客观、可操作的飞行注意力分配评价方法，为飞行学员的注意力训练提供了数据支持与实践路径，也为航空训练从经验导向转向科学量化提供了有益参考。

### 参考文献：

- [1] Wickens, C. D. Multiple resources and performance prediction[J]. Theoretical Issues in Ergonomics Science, (2002)3(2), 159-177.
  - [2] Haslbeck, A., & Zhang, B. I fly, you fly, we fly: Exploring visual attention in the cockpit using eye tracking[N]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, (2017).61(1), 91-95.
  - [3] 王战超, 张磊, 孙瑞山. 基于眼动特征的飞行学员注意力分配研究 [J]. 中国安全科学学报, (2021)31(8), 78-84.
  - [4] 黄敏, 郭海鹏. 民航飞行员情境意识与注意力分配的关系研究综述 [J]. 人类工效学, (2019)25(2), 68-73.
- 基金项目：国家自然科学基金民航联合基金重点项目（编号：U2133209）。